

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Analisis Penopang

3.1.1. Batas Kelangsingan

Batas kelangsingan untuk batang yang direncanakan terhadap tekan dan tarik dicari dengan persamaan dari Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung SNI 03-1729-2002 pasal 7.6.4.

$$\lambda = L_k/r < 200 \quad \text{untuk beban tekan} \quad (3-1.a)$$

$$\lambda = L/r < 300 \quad \text{untuk beban tarik} \quad (3-1.b)$$

Panjang efektif (L_k) dicari persamaan dari SNI 03-1729-2002 pasal 7.6.1.

$$L_k = k_c L \quad (3-2)$$

keterangan :

- λ = perbandingan kelangsingan,
- L_k = panjang efektif,
- L = panjang teoritis batang,
- r = jari-jari girasi,
- k_c = faktor panjang tekuk

Nilai k_c diambil dari gambar 7.6-1 pada SNI 03-1729-2002, dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.1. Nilai faktor panjang tekuk dengan ujung-ujung ideal

Garis terputus menunjukkan diagram kolom tertekuk	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Nilai ℓ_c teoritis	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Nilai ℓ_c yang dianjurkan untuk kolom yang mendekati kondisi ideal	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Kode ujung						

sumber : SNI 03-1729-2002

Jari-jari girasi (r) penampang pipa dicari dengan persamaan berikut.

$$r = \frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{4} \quad (3-3)$$

Persamaan di atas merupakan penyederhanaan dari persamaan $r = \sqrt{\frac{I}{A}}$. Dimana

$$I = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{64} \text{ dan } A = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4}.$$

keterangan :

- r = jari-jari girasi,
- I = momen inersia,
- A = luas penampang,
- D = diameter luar pipa,
- d = diameter dalam pipa

3.1.2. Komponen Struktur Tekan

Pada SNI 03-1729-2002 pasal 9.1, suatu komponen struktur yang mengalami gaya tekan konsentris akibat beban terfaktor (N_u), harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$a. N_u \leq \phi_n N_n \quad (3-4)$$

keterangan :

- N_u = beban terfaktor,
- ϕ_n = faktor reduksi (0,85),
- N_n = kuat tekan nominal komponen struktur

Faktor reduksi diambil pada tabel 6.4-2 dari SNI 03-1729-2002. Pada tabel kuat rencana untuk komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial didapat faktor reduksi sebesar 0,85. Untuk kuat tekan nominal (N_n) dicari dengan persamaan berikut (SNI 03-1729-2002 pasal 7.6.2).

$$N_n = A_g f_{cr} = A_g \frac{f_y}{\omega} \quad (3-5)$$

$$\text{untuk } \lambda_c \leq 0,25 \quad \text{maka } \omega = 1 \quad (3-6a)$$

$$\text{untuk } 0,25 < \lambda_c < 1,2 \quad \text{maka } \omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} \quad (3-6b)$$

$$\text{untuk } \lambda_c \geq 1,2 \quad \text{maka } \omega = 1,25 \lambda_c^2 \quad (3-6c)$$

dengan parameter kelangsingan kolom (λ_c) ditetapkan sebagai berikut.

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \frac{L_k}{r} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (3-7)$$

keterangan :

- N_n = kuat tekan nominal komponen struktur,
- A_g = luas penampang bruto,
- f_{cr} = tegangan kritis penampang,
- f_y = tegangan leleh material,
- ω = koefisien,
- λ_c = parameter kelangsingan kolom,

- r = jari-jari girasi,
- L_k = panjang efektif,
- E = modulus elastisitas baja

b. Perbandingan kelangsingan.

- Kelangsingan elemen penampang (SNI 03-1729-2002 Tabel 7.5-1) $< \lambda_r$
- Kelangsingan komponen struktur tekan, $\lambda = L_k/r < 200$

Pada tabel 7.5-1, kelangsingan elemen untuk penampang bulat berongga dicari dengan persamaan D/t . Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal (λ_r) dapat dicari dengan persamaan $22000/f_y$.

- c. Komponen struktur tekan yang elemen penampangnya mempunyai perbandingan lebar terhadap tebal lebih besar daripada nilai λ_r yang ditentukan dalam SNI 03-1729-2002 Tabel 7.5-1 harus direncanakan dengan analisis rasional yang dapat diterima.

3.1.3. Komponen Struktur Tarik

Pada SNI 03-1729-2002 pasal 10.1, komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial akibat beban terfaktor (N_u), harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$N_u \leq \phi N_n \quad (3-8)$$

dengan ϕN_n adalah kuat tarik rencana yang besarnya diambil sebagai nilai terendah di antara dua perhitungan di bawah ini :

$$\phi = 0,9$$

$$N_n = A_g f_y \quad (3-9a)$$

dan

$$\phi = 0,75$$

$$N_n = A_e f_u \quad (3-9b)$$

keterangan :

- N_u = beban terfaktor,
- ϕ_n = faktor reduksi,
- N_n = kuat tekan nominal komponen struktur,
- A_g = luas penampang bruto,
- A_e = luas penampang efektif,
- f_y = tegangan leleh,
- f_u = tegangan tarik putus

Luas penampang efektif komponen struktur yang mengalami gaya tarik ditentukan sebagai berikut.

$$A_e = A U \quad (3-10)$$

keterangan :

- A = luas penampang
- U = faktor reduksi = $1 - (\underline{x}/L) \leq 0,9$
- \underline{x} = eksentrisitas sambungan, jarak tegak lurus arah gaya tarik, antara titik berat penampang komponen yang disambung dengan bidang sambungan = D/π diambil dari Tabel D3.1 pada *Specification for Structural Steel Buildings (AISC 360-10)*.
- L = panjang sambungan dalam arah gaya tarik, yaitu jarak antara dua baut yang terjauh pada suatu sambungan atau panjang las dalam arah gaya tarik

Untuk kasus dimana gaya tarik hanya disalurkan oleh satu baut, digunakan persamaan sebagai berikut.

$$A_{nt} = A_g - n d t \quad (3-11)$$

$$A = A_{nt}$$

keterangan :

- A_{nt} = luas penampang neto,
- A_g = luas penampang bruto,
- n = banyaknya lubang baut,
- d = diameter lubang,
- t = tebal penampang

3.2. Analisis Sambungan

3.2.1. Kuat Baut

Struktur kubah geodesik mengalami gaya geser pada sambungannya. Pada Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung SNI 03-1729-2002 pasal 13.2.2, persyaratan kekuatan baut dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

a. Kekuatan baut

Suatu baut yang memikul gaya terfaktor (R_u) harus memenuhi

$$R_u \leq \phi R_n \quad (3-12)$$

keterangan :

- ϕ = faktor reduksi kekuatan,
- R_n = kuat nominal baut

b. Baut dalam geser

Kuat geser rencana dari satu baut dihitung sebagai berikut :

$$V_d = \phi_f V_n = \phi_f r_l f_u^b A_b \quad (3-13)$$

keterangan :

- V_d = kuat geser rencana baut,
- V_n = kuat geser nominal baut,
- ϕ_f = 0,75 = faktor reduksi kekuatan untuk fraktur,
- r_l = 0,5 untuk baut tanpa ulir pada bidang geser,
- r_l = 0,4 untuk baut dengan ulir pada bidang geser,
- f_u^b = tegangan tarik putus baut,
- A_b = luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

c. Kuat tumpu

Kuat tumpu rencana bergantung pada yang terlemah dari baut atau komponen pelat yang disambung. Apabila jarak lubang tepi terdekat dengan sisi pelat dalam arah kerja gaya lebih besar daripada 1,5 kali

diameter lubang, jarak antar lubang lebih besar daripada 3 kali diameter lubang, dan ada lebih dari satu baut dalam arah kerja gaya, maka kuat rencana tumpu dapat dihitung sebagai berikut.

$$R_d = \phi_f R_n = 2,4 \phi_f d_b t_p f_u \quad (3-14a)$$

Kuat tumpu yang didapat dari perhitungan di atas berlaku untuk semua jenis lubang baut. Sedangkan untuk lubang baut selot panjang tegak lurus arah kerja gaya berlaku persamaan berikut ini,

$$R_d = \phi_f R_n = 2,0 \phi_f d_b t_p f_u \quad (3-14b)$$

keterangan :

- R_d = kuat rencana,
- R_n = kuat nominal,
- ϕ_f = 0,75 = faktor reduksi kekuatan untuk fraktur,
- d_b = diameter baut nominal pada daerah tak berulir,
- t_p = tebal pelat,
- f_u = tegangan tarik putus yang terendah dari baut atau pelat

3.2.2. Tata Letak Baut

Jarak tepi minum dapat dilihat pada SNI 03-1729-2002 pasal 13.4.2. Jarak minimum dari pusat sambungan ke tepi pelat harus memenuhi spesifikasi dalam tabel berikut.

Tabel 3.2. Jarak tepi minimum

Tepi dipotong dengan tangan	Tepi dipotong dengan mesin	Tepi profil bukan hasil potongan
$1,75 d_b$	$1,50 d_b$	$1,25 d_b$

sumber : SNI 03-1729-2002

dengan d_b adalah diameter nominal baut pada daerah tak berulir. Jarak tepi pelat harus memenuhi juga ketentuan Butir 13.2.2.4 (Tercantum pada Bab 3.2.1.c).

Diameter nominal dari suatu lubang yang sudah jadi, harus 2 mm lebih besar dari diameter nominal baut untuk suatu baut yang diameternya tidak melebihi 24 mm, dan maksimum 3 mm lebih besar untuk baut dengan diameter lebih besar, kecuali untuk lubang pada pelat landas (SNI 03-1729-2002 pasal 17.3.6).

3.3. Kombinasi Pembebanan

Struktur baja harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan yang disesuaikan dalam Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung SNI 03-1729-2002 pasal 6.2.2

- $1,4D$ (3-15a)
- $1,2D + 1,6L + 0,5(L_a \text{ atau } H)$ (3-15b)
- $1,2D + 1,6(L_a \text{ atau } H) + (\gamma_L L \text{ atau } 0,8W)$ (3-15c)
- $1,2D + 1,3W + \gamma_L L + 0,5(L_a \text{ atau } H)$ (3-15d)
- $1,2D \pm 1,0E + \gamma_L L$ (3-15e)
- $0,9D \pm (1,3W \text{ atau } 1,0E)$ (3-15f)

keterangan :

- D = beban mati,
- L = beban hidup,
- L_a = beban hidup pada atap selama perawatan,
- H = beban hujan,
- W = beban angin,
- E = beban gempa,
- γ_L = 0,5 bila $L < 5$ kPa, 1 bila ≥ 5 kPa

3.4. Beban Hidup

Beban hidup yang terjadi pada struktur kubah geodesik dihitung seperti beban hidup pada atap gedung. Nilai beban hidup diambil dari Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1987 pasal 2.1.2.2 sebagai berikut.

Beban hidup pada atap dan/atau bagian atap yang tidak dapat dicapai dan dibebani oleh orang, harus diambil yang paling menentukan di antara dua macam beban berikut :

- a. Beban terbagi rata per m^2 bidang datar berasal dari beban air hujan.
 $(40 - 0,8 \alpha) \text{ kg/m}^2$ (3-16)

Di mana α adalah sudut kemiringan atap dalam derajat, dengan ketentuan bahwa beban tersebut tidak perlu diambil lebih besar dari 20 kg/m^2 dan tidak perlu ditinjau bila kemiringan atapnya adalah lebih besar dari 50° .

- b. Beban terpusat berasal dari seorang pekerja atau seorang pemadam kebakaran dengan peralatannya sebesar minimum 100 kg .

3.5. Beban Angin

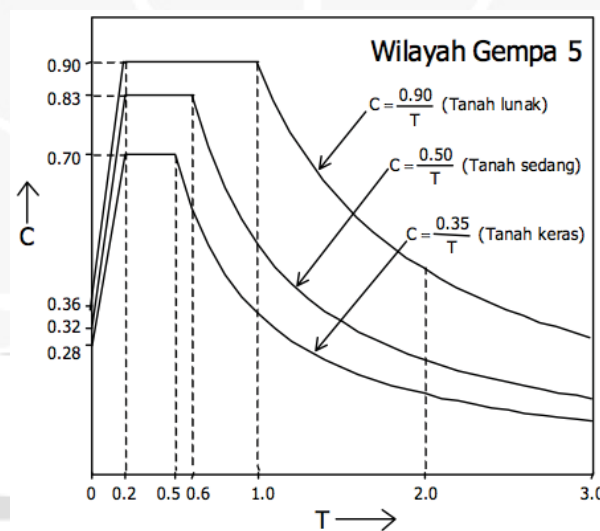
Tekanan tiup diambil minimum 25 kg/m^2 sesuai dengan ketentuan pada Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1987 pasal 2.1.3.2. Koefisien angin diambil sesuai ketentuan gedung tertutup dari pasal 2.1.3.3 dengan atap lengkung dengan sudut pangkal β :

$\beta > 22^\circ$: untuk bidang lengkung di pihak angin :

3.6. Wilayah dan Analisis Pembebanan Gempa

3.6.1. Wilayah Gempa

Perancangan struktur kubah geodesik ini menggunakan wilayah gempa 5. Wilayah gempa 5 merupakan wilayah dengan resiko gempa tinggi. Syarat Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dipakai untuk bangunan pada wilayah gempa beresiko tinggi. Berikut adalah gambar respon spektrum gempa wilayah 5 yang diambil dari Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 03-1726-2002 pasal 4.7.6.



Gambar 3.2. Respon spektrum gempa wilayah 5

sumber : SNI 03-1726-2002

3.6.2. Beban Gempa Statik Ekuivalen

Menurut SNI 03-1726-2002 pasal 6.1.2, beban geser nominal (V) yang terjadi di tingkat dasar dapat dihitung dengan persamaan :

$$V = \frac{C_L I}{R} W_t \quad (3-17)$$

keterangan :

- V = gaya geser dasar nominal,
- C_I = nilai faktor respons gempa,
- I = faktor keutamaan gedung,
- R = faktor reduksi gempa,
- W_t = berat total gedung.

3.6.3. Waktu Getar Alami Fundamental

Nilai waktu getar alami fundamental (T_I) harus dibatasi sesuai SNI 03-1726-2002 pasal 5.6 dengan persamaan :

$$T_I = Ct h^x \quad (3-18)$$

$$T_I < T \quad (T = \zeta n) \quad (3-19)$$

keterangan :

- T_I = waktu getar alami fundamental,
- Ct = nilai parameter perioda pendekatan,
- x = nilai parameter perioda pendekatan,
- h = tinggi bangunan,
- ζ = koefisien waktu getar alami,
- n = jumlah tingkat bangunan.

Hasil waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan dalam arah masing-masing sumbu utama dapat dianalisa dengan rumus Rayleigh sebagai berikut (SNI 03-1726-2002, pasal 6.2):

$$T = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i \cdot d_i}} \quad (3-20)$$

Nilai T yang dihitung tidak boleh menyimpang lebih dari 20% hasil T_I .

keterangan :

- T = waktu getar alami fundamental,
- W_i = berat struktur tingkat ke-i,
- F_i = gaya akibat gempa,
- g = percepatan gravitasi,
- d_i = simpangan horisontal lantai.

Di mana gaya akibat gempa (F_i) dihitung dengan persamaan sesuai dengan SNI 03-1726-2002 pasal 6.1.3.

$$F_i = \frac{W_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot z_i} V \quad (3-21)$$

keterangan :

- F_i = gaya akibat gempa,
- W_i = berat struktur tingkat ke-i,
- z_i = gaya akibat gempa,
- V = gaya geser dasar nominal,

3.7. Kinerja Struktur Bangunan

3.7.1. Kinerja Batas Layan

Kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar-tingkat akibat pengaruh beban gempa. Pembatasan ini berguna untuk membatasi terjadinya pelelehan baja yang berlebihan, di samping untuk mencegah kerusakan non struktur dan ketidaknyamanan penghuni.

Pada Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung, SNI 03-1726-2002, pasal 8.1.2, simpangan antar tingkat (Δs) tidak boleh melebihi $0,03/R$ (faktor reduksi gempa) dikali tinggi tingkat (h_i) yang bersangkutan, atau diambil 30 mm tergantung nilai mana yang terkecil.

$$\Delta s < \frac{0,03}{R} h_i \quad (3-22a)$$

$$\Delta s < 30 \text{ mm} \quad (3-22b)$$

3.7.2. Kinerja Batas Ultimit

Sesuai dengan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung, SNI 03-1726-2002, pasal 8.2.1 dan 8.2.2, kinerja batas ultimit

($\xi \Delta s$) struktur ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar tingkat struktur akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur diambang keruntuhan. Pembatasan ini dilakukan untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur yang dapat menimbulkan korban jiwa dan untuk mencegah terjadinya benturan berbahaya antar gedung. Faktor pengali ξ dicari dengan syarat berikut.

$$\xi \Delta s < 0,02 h_i \quad (3-23)$$

untuk struktur gedung beraturan :

$$\xi = 0,7 R \quad (3-24a)$$

untuk struktur gedung tidak beraturan :

$$\xi = \frac{0,7 R}{faktor\ skala} \quad (3-24b)$$